

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-139543

(43)Date of publication of application : 27.05.1997

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

(21)Application number : 07-296474

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 15.11.1995

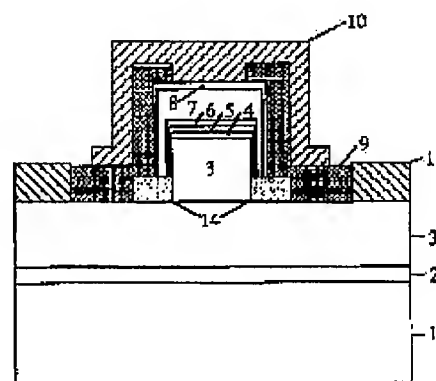
(72)Inventor : TANAKA TOSHIKI

## (54) SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To operate a semiconductor laser having a light emitting active layer region composed of GaInN/AlGaIn, at a low threshold value.

**SOLUTION:** A GaN buffer layer 2 and an N-type GaN optical waveguide layer 3 are grown on a substrate 1, and an insulating mask 14 is formed. Again the N-type GaN optical waveguide layer 3, an N-type AlGaIn optical waveguide layer 4, a strain compensation multi-quantum well active layer 5, a P-type AlGaIn optical waveguide layer 6, a P-type GaN optical waveguide layer 7 and a P-type GaInN contact layer 8 are selectively grown. The strain compensation multi-quantum well active layer 5 is formed by joining a quantum barrier layer of undoped Al<sub>0.10</sub>Ga<sub>0.90</sub>N to a quantum well layer of undoped Ga<sub>0.20</sub>In<sub>0.80</sub>N. By constituting a light emitting active layer as the strain compensation structure by the quantum well layer of GaInN and a quantum barrier layer of AlGaIn, an energy barrier of In composition of the quantum well layer and the AlGaIn quantum barrier layer is increased. Thereby a laser element is obtained wherein electron and positive hole carriers are sufficiently confined in the quantum well layer, generation efficiency of optical gain is high, and operation at a low threshold value is possible up to a high temperature.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-139543

(43) 公開日 平成9年(1997)5月27日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 S 3/18

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 S 3/18

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平7-296474

(22) 出願日 平成7年(1995)11月15日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 田中 俊明

東京都国分寺市東荏ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子

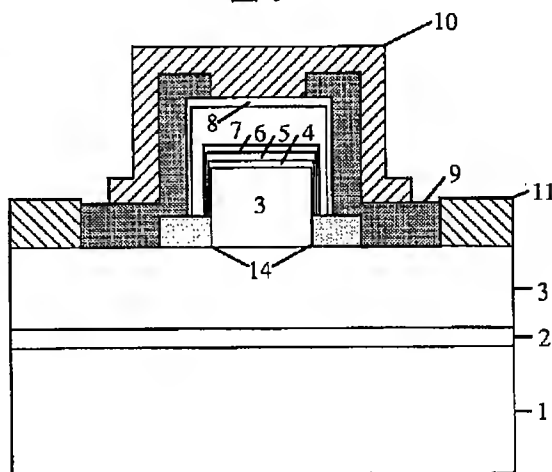
(57) 【要約】

【課題】 GaInN/AlGaIn材料系からなる発光活性層領域を有する半導体レーザを低閾値で動作させる。

【解決手段】 基板1上にGaInバッファ層2とn型GaIn光導波層3を成長させ、絶縁膜マスク14を形成し、再度n型GaIn光導波層3と、続いてn型AlGaIn光導波層4、歪補償多重量子井戸活性層5、p型AlGaIn光導波層6、p型GaIn光導波層7、p型GaInNコンタクト層8を選択成長する。歪補償多重量子井戸活性層5は、アンドープGa<sub>0.20</sub>In<sub>0.80</sub>Nの量子井戸層にアンドープAl<sub>0.10</sub>Ga<sub>0.90</sub>Nの量子障壁層を接合させて形成される。

【効果】 発光活性領域をGaInNの量子井戸層とAlGaInの量子障壁層とで歪補償構造に構成して、量子井戸層のIn組成とAlGaIn量子障壁層によるエネルギー障壁を高めることで、量子井戸層に電子や正孔キャリアを十分閉じ込め、光学利得の発生効率が高く、低閾値でより高温まで動作するレーザ素子を得た。

図6



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】単結晶基板上に設けた発光素子において、禁制帯幅の大きな光導波層とそれらに挟まれた禁制帯幅の小さな発光活性層を有した異種二重接合構造を設けておき、該基板上に設ける結晶層はIII-V族の混晶及び化合物半導体材料から構成され、少なくとも該発光活性層はIII族元素が2つ以上であるか又はV族元素が2つ以上で構成された3元以上の混晶半導体によりすべて形成されており、かつ格子歪を導入した3元以上の混晶半導体により量子井戸層または量子障壁層を繰り返して形成した至多重量子井戸構造を構成していることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】上記至多重量子井戸構造発光活性層を構成する歪量子井戸層と歪量子障壁層には少なくとも反対符号の格子歪を導入してあり、該発光活性層全体において格子歪が補償できていることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ素子。

【請求項3】上記至多重量子井戸構造発光活性層の両側に設ける光分離閉じ込め層にも格子歪を導入し、該至多重量子井戸構造発光活性層と光分離閉じ込め層を含めた全体で、格子歪が補償できている歪補償型の発光活性領域を有していることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ素子。

【請求項4】上記至多重量子井戸活性層における歪量子障壁層は圧縮歪或いは引張歪のどちらか一方であるか、圧縮歪と圧縮歪、引張歪と引張歪、或いは圧縮歪と引張歪を導入した2段階の結晶層により構成してあることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項5】上記至多重量子井戸活性層及び該光導波層を構成するIII-V族半導体材料は窒化物系の混晶または化合物半導体からなり、AlGaIn材料を用いて構成されていることを特徴とする請求項1乃至4に記載の半導体レーザ素子。

【請求項6】上記至多重量子井戸活性層はGaInN圧縮歪量子井戸層とAlGaIn引張歪量子障壁層の繰り返してにより形成してあることを特徴とする請求項5に記載の半導体レーザ素子。

【請求項7】上記至多重量子井戸活性層は、GaInN圧縮歪量子井戸層とAl組成を段階的に変えた少なくとも2段階のAlGaIn引張歪量子障壁層を設けることにより、該量子井戸層と該量子障壁層を交互に繰り返して形成してあることを特徴とする請求項4又は5に記載の半導体レーザ素子。

【請求項8】上記至多重量子井戸活性層は、GaInN圧縮歪量子井戸層と、該量子井戸層よりもIn組成を小さくしたGaInN圧縮歪量子障壁層とAlGaIn引張歪量子障壁層を少なくとも2段階に設けた量子障壁層とにより構成し、該量子井戸層と該量子障壁層を交互に繰り返して形成してあることを特徴とする請求項4又は5に記載の半導体レー

ザ素子。

【請求項9】上記光分離閉じ込め層にはAlGaIn引張歪結晶層を用いて形成してあることを特徴とする請求項5乃至8のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項10】上記単結晶基板は六方晶系のWurtzite構造を有した単結晶基板であることを特徴とする請求項5乃至9のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項11】上記単結晶基板はWurtzite構造を有した(0001)C面を有するサファイア( $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ )基板であるか或いは(0001)C面を有する炭化珪素( $\alpha$ -SiC)であることを特徴とする請求項10に記載の半導体レーザ素子。

【請求項12】上記六方晶系Wurtzite構造基板上に該光導波路構造を設ける際に、導波路を形成する方向を該基板の(11-20)A面に平行であるか、或いは垂直となる方向に設定することを特徴とする請求項5乃至11のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項13】上記p側電極と接触するp型コンタクト層にはp型GaInN結晶層を設定してあることを特徴とする請求項5乃至12項のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

【請求項14】上記p側電極と接触するp型GaInNコンタクト層には、活性化したキャリア濃度として少なくとも $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上を設けてあり、 $5 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の範囲で任意に設定できていることを特徴とする請求項13に記載の半導体レーザ素子。

【請求項15】上記活性化した正孔キャリア濃度を発生するp型不純物にはMgを用いてドーピングすることを特徴とする請求項5乃至14のいずれかに記載の半導体レーザ素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光情報処理或は光応用計測用に適した半導体レーザ素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来の作製技術としては、例えば青色領域の発光ダイオード素子に関し、素子を構成する素子構造がアブライド・フィジックス・レター誌、1994年、64巻、1687-1689頁(Appl. Phys. Lett., 64, 1687-1689(1994).)において述べられており、GaInN/GaN/AlGaIn材料を用いた発光活性層が示されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記論文誌が開示する従来技術では、窒素系材料の青色発光ダイオードに適する発光活性層の構成について言及している。しかしながら、発光素子の発光効率を向上させるための発光活性層に関する具体的な方策を示しておらず、低い注入電流でより大きな光学利得を生ずる活性層構造について詳細内容を述べていない。また、低閾値でレーザ発振させるためのキャリア閉じ込めに対する明確な対策を説明していない。

【0004】本発明の目的は、例えば上記論文誌が開示する構造の発光素子の発光効率を向上するに適した素子構造を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】上述の本発明の目的は、発光活性層を構成する結晶層を、結晶性がよくヘテロ界面の急峻性が良好な多重量子井戸構造とし、且つ歪補償型の活性層領域を構成することにより、従来より低閾値で（即ち、素子への注入電流を低くして）GaInN/AlGaInN材料系からなる素子をレーザ発振させることで達成される。このため、本発明では発光素子の発光活性層をGaInN圧縮歪量子井戸層とAlGaInN引張歪量子障壁層とからなる周期的ヘテロ構造（異種の層を二重に接合する構造）とし、且つ当該発光活性層を歪補償多重量子井戸構造活性層として構成する。さらに当該発光活性層について詳細を規定し、光学利得の発生効率に対する導入した歪の効果やキャリアの閉じ込め効果を向上させる。このことにより、低閾値かつ高効率で動作するレーザ素子を達成する。

【0006】上述の目的を達成するにあたり、本発明では半導体レーザ素子を以下の説明の如く構成する。

【0007】本発明では、少なくとも3つ以上の元素からなる3元以上の混晶半導体で量子井戸層及び量子障壁層を形成した多重量子井戸構造により活性層を構成し、かつ量子井戸層と量子障壁層に導入する格子歪を反対符号で設定して（即ち、隣接しあう量子井戸層と量子障壁層の格子歪値の正負が逆となるように両層を積層して）歪補償型とした歪補償多重量子井戸構造とする。格子歪値の正負の違いは、例えば、一方の層に圧縮歪を加え、他方の層に引っ張り歪を加えるようにして両層を積層することで実現する。さらに、該多重量子井戸構造と隣接して設ける光分離閉じ込め層にも格子歪を導入した結晶層により構成して、多重量子井戸構造と光分離閉じ込め層を含めた活性層領域全体において歪補償型とする。なお、光分離閉じ込め層は、一方の面で量子井戸層と、他方の面でp型又はn型の光導波層と夫々接合するとよい。歪補償型とすることにより、量子井戸層にはより大きな格子歪を導入し、特に有効質量の重いキャリアを有する窒素系材料に対して、価電子帯のバンド構造を変形させて有効質量のより軽い正孔キャリアとすることが可能となる。

【0008】III-V族化合物からなる発光活性層を有する半導体レーザ素子において、量子井戸層にInを含めると、発光効率は向上する。このことは、窒化物材料系（V族元素として窒素を含むIII-V族化合物からなる）半導体レーザ素子でも同様である。さらに、窒化物材料系半導体レーザ素子の発光活性層を結晶性良く（欠陥フリーで）形成するには、GaInNからなる基板又は膜の上部に発光活性層を成長させることが望ましい（困みに基板又は膜がAlを含むと、発光活性層に欠陥が生じ易

い）。GaInNの基板又は膜の上部に、GaInN結晶からなる量子井戸層とAlGaInN結晶からなる量子障壁層を成長させると、前者には圧縮歪が、後者には引張歪が導入される。GaInN結晶の表面において、Gaより原子半径の大きい元素（In）を含む前者の膜が成長するとき、この膜の結晶格子は成長方向に伸びるため、Inを含みながらもGaInN結晶と格子整合することができる。換言すれば、前者の膜は成長方向に垂直な方向（即ち、膜の側面）から圧縮されたような形の結晶として形成される。このとき、前者の膜即ちGaInN結晶には圧縮歪が加わる。後者の膜、即ちGaより原子半径の小さい元素（Al）を含む膜は、前者と反対である。このことは、後者の膜をGaInN結晶の表面に成長することを考えれば明らかである。後者の膜は、その結晶格子を成長方向に縮ませることで、GaInN結晶と格子整合しながら成長する。このため、後者の膜は成長方向に垂直な方向へ引っ張られたような形の結晶として形成され、この膜即ちAlGaInN結晶には引張歪が加わる。前者の膜と後者の膜とを直接接合した場合、前者の膜に圧縮歪が、後者の膜に引張歪が夫々加わることはいうまでもない。

【0009】ここまでは、理解のために量子井戸層をGaInN結晶で、量子障壁層をAlGaInN結晶で形成した例で説明したが、本発明の半導体レーザは量子井戸層が他の層に対して原子半径の大きい原子（換言すれば、質量の大きい原子）を多く含み、量子障壁層は量子井戸層に対して原子半径の小さい原子（換言すれば、質量の小さい原子）を多く含むところに特徴を有する。結晶の単位胞（unit cell）を構成する原子の平均質量で見れば、量子井戸層の方が量子障壁層より大きいという特徴があるといえよう。双方の層（結晶膜）を成長するに際し、その膜厚を臨界膜厚（歪による結晶欠陥が生じない最大の膜厚値）以下に抑えるのも肝要である。

【0010】また本発明の半導体レーザ素子では、発光活性層たる多重量子井戸構造を2元化合物半導体を用いずに、3元以上の混晶半導体で構成することにより、発光活性層における格子歪の緩和を高める。発光活性層領域全体において歪を補償することにより、例えばGaInN圧縮歪量子井戸層におけるIn組成をより大きく導入することが可能となる。つまり、より大きな歪の効果を利用でき、かつ量子井戸層のポテンシャル井戸を大きくできる二つの効果によって、光学利得を大きく発生させることが実現できる。また、量子障壁層に禁制帯幅が大きく、伝導帯バンドオフセットの大きなAlGaIn層を利用できるので、量子井戸層に対するエネルギー障壁を十分高く設定することが可能である。このため、多重量子井戸構造におけるキャリア閉じ込めの効果をより向上できる。また、歪補償型の活性層領域では、従来の単体活性層の場合に比べて、格段に結晶性の改善を図ることができる。歪補償型の多重量子井戸構造では、量子井戸層の格子歪をより大きく導入して利用できること、また活性

層領域全体において歪を補償して結晶性を良好に保つことができる点で有効である。少なくとも3つ以上の元素からなる3元以上の混晶半導体をもって、量子井戸層及び量子障壁層を形成することにより、格子歪緩和の柔軟性を持たせる。具体的に、窒化物材料系では、量子井戸層に圧縮歪を導入したGaInN結晶層を用い、量子障壁層には引張歪を導入したAlGaIn結晶層とする。発光活性層領域全体において歪を補償することにより、量子井戸層のIn組成を大きく導入してポテンシャル井戸の深さを大きくし、量子障壁層のAl組成によりエネルギー障壁をより高く設定できるので、量子井戸層におけるキャリアを十分閉じ込め、高注入時でも光学利得の飽和が生じない、利得発生効率の高いレーザ素子を達成できる。これにより、室温以上の高温までレーザ発振が安定に得られる。また、本発明による窒化物半導体の歪補償多重量子井戸構造においては、低温成長が必要なGaInN量子井戸層に対して、高温で安定なAlGaIn量子障壁層で覆う形を繰り返すことになるので、高温成長時でのGaInN結晶層の再離脱を防ぐことができる。これは、半導体レーザ素子の作製においてAlGaIn量子障壁層を成長する際、GaInN量子井戸層成長時に比べて基板温度を高くするという成膜条件の要請（低温成長では結晶性劣化）に基づくものである。III族原子においてはIn、Ga、Alの順で加熱時の蒸発量が多く、AlGaIn層の成長時におけるGaInN層中のInの脱離が問題であったが、本発明による構成では、既に成膜されたGaInN量子井戸層がAlGaIn量子障壁層で覆われた形状を有するため、Inの脱離を抑制できる。つまり、本発明の歪補償多重量子井戸構造によって、量子井戸層の結晶性とヘテロ界面や組成の急峻性を一原子オーダーで良好に保つことが可能であった。さらには光分離閉じ込め層も含めて歪補償としており（光分離歪層として構成しており）、発光活性層領域の全体において結晶性を良好に確保できた。

【0011】多重量子井戸構造の活性層においては、キャリアの注入効率を考慮しなければならない。特に、有効質量の重いキャリアを有する窒化物半導体では、キャリアの輸送と一つ一つの量子井戸層におけるキャリア捕獲を十分向上させる必要がある。このため、本発明では、図1に示す量子井戸層と量子障壁層の繰り返しだけではなく、図2や図3に示した、量子障壁層を少なくとも2段階にした構造を設けることにより、量子井戸層におけるキャリア捕獲を改善することを考案した。これによると、図1の場合よりも、素子の低閾値動作が可能であり、閾値電流は2/3から1/2にまで低減できた。

【0012】以上により、結晶性がよくヘテロ界面の急峻性が原子層オーダーで良好であり、より高温までキャリア閉じ込めがよく、光学利得の飽和が生じにくく利得発生効率を高めた、歪補償型多重量子井戸構造として、GaInN/AlGaIn材料系のレーザ発振を低閾値で実現し、かつ室温以上の高温まで動作するレーザ素子を得た。

## 【0013】

### 【発明の実施の形態】

#### 実施例1

本発明の一実施例を図4により説明する。まず(0001)C面を有するサファイア( $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ )基板1上に、有機金属気相成長法により温度450～550℃においてGaNバッファ層2を成長し、成長温度1000～1100℃において、n型GaIn光導波層3、n型 $\text{Al}_\alpha\text{Ga}_{1-\alpha}\text{N}$ ( $\alpha=0.25$ )光導波層4、アンドープ $\text{Al}_\alpha\text{Ga}_{1-\alpha}\text{N}$ ( $\alpha=0.10$ )光分離閉じ込め層とアンドープ $\text{Al}_\alpha\text{Ga}_{1-\alpha}\text{N}$ ( $\alpha=0.10$ )引張歪量子障壁層及びアンドープ $\text{Ga}_{1-\beta}\text{In}_\beta\text{N}$ ( $\beta=0.20$ )圧縮歪量子井戸層からなる歪補償多重量子井戸活性層5、p型AlGaIn光導波層6、p型GaIn光導波層7、p型GaInNコンタクト層8を設ける。この際、歪補償多重量子井戸活性層5には、図1に示す構造を用いた。歪補償多重量子井戸活性層5の形成において、特にアンドープ $\text{Al}_\alpha\text{Ga}_{1-\alpha}\text{N}$ 層をアンドープ $\text{Ga}_{1-\beta}\text{In}_\beta\text{N}$ 層上に形成する際には、アンモニア雰囲気で行うとInの脱離を抑制できる。また、p型光導波層6とp型光導波層7及びp型コンタクト層8には、p型不純物Mgをドーピングしており、p型光導波層6とp型光導波層7には、 $5 \times 10^{17} \sim 2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲で設定し、p型コンタクト層8に対しては、 $5 \times 10^{18} \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲に設定した。次に、フォトリソグラフィとエッチング加工により、図4に示すように、結晶層の一部を層3に到るまで除去する。その後、絶縁膜9を設けて、ストライプ方向を該基板1の(11-20)A面と平行な方向に形成する。また、リソグラフィにより、p側電極10とn側電極11を蒸着する。最後に、光導波路ストライプに対して垂直な方向に基板を劈開することによって、図4に示す素子断面を得る。

【0014】本実施例によると、活性層構造において格子歪を補償しているため、GaInN量子井戸層のIn組成を歪補償しない場合に比べて大きく導入することが可能であり、ポテンシャル井戸の深さを大きくとれる。さらに、禁制帯幅が大きく伝導帯バンドオフセットを大きくとれるAlGaIn結晶層を量子障壁層に用いているので、エネルギー障壁をより高く設定できた。これにより、量子井戸層におけるキャリア、特に電子キャリアを十分閉じ込め、光学利得の発生効率が高い、低閾値で室温以上の高温まで動作するレーザ素子を得た。また、歪補償多重量子井戸構造においては、低温成長が必要なGaInN量子井戸層に対して、高温で安定なAlGaIn量子障壁層でもってカバーすることになるので、GaInN結晶層の再離脱を防ぎ、圧縮歪量子井戸層の結晶性と組成ヘテロ界面の急峻性を良好に保つことが可能となった。さらには歪補償型の多重量子井戸構造を設けているので、発光活性層領域の全体において結晶性を良好に設定できた。本実施例では、活性層横方向に対して利得差を設けることにより横モードを導波する利得導波構造を有しており、発振波長410～430nmの範囲でレーザ発振する素子を得

た。

#### 【0015】実施例2

本発明の他実施例を図5により説明する。実施例1と同様にして素子を作製するが、層7まで設けた後、フォトリソグラフィとエッチングにより、層6に到るまで層7を除去してリジストライブを形成する。次に、絶縁膜マスクを利用して、n型Ga<sub>0.9</sub>N電流狭窄層12を選択成長する。絶縁膜マスクを除去した後、p型Ga<sub>0.9</sub>N埋め込み層13とp型GaInNコンタクト層8を結晶成長する。次に、フォトリソグラフィとエッチング加工により、図5に示すように、リジストライブ構造の両側を層3に到るまで除去する。その後、実施例1と全く同様にして、素子を作製し、図5に示す素子断面を得る。

【0016】本実施例によると、活性層横方向に対して実屈折率差を設けることにより、基本横モードを安定に導波する屈折率導波構造を有したリジストライブ構造を作製でき、実施例1よりも低閾値で動作し、実施例1に比べて閾値電流は1/3〜1/5にまで低減した素子を得た。発振波長は、青紫色波長域の410〜430nmの範囲であった。

#### 【0017】実施例3

本発明の他実施例を図6により説明する。まず、実施例1や2と同様にして、層3まで設ける。次に、フォトリソグラフィとエッチングにより選択成長用絶縁膜マスク14を形成する。その後、n型Ga<sub>0.9</sub>N光導波層3、n型AlGa<sub>0.1</sub>N光導波層4、アンドープAl<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>N( $\alpha=0.10$ )引張歪光分離閉じ込め層とアンドープAl<sub>0.9</sub>Ga<sub>0.1</sub>N( $\alpha=0.10$ )引張歪量子障壁層及びアンドープGa<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>N( $\beta=0.20$ )圧縮歪量子井戸層からなる歪補償多重量子井戸活性層5、p型AlGa<sub>0.9</sub>N光導波層6、p型Ga<sub>0.9</sub>N光導波層7、p型GaInNコンタクト層8を選択成長する。その後、絶縁膜9を形成して、リソグラフィにより、p側電極10とn側電極11のパターンを蒸着形成する。さらに、導波路とは垂直な方向に基板を劈開することによって図6に示す素子断面を得る。

【0018】本実施例によると、活性層横方向に対して実屈折率差を大きく設けることができるので、導波光を安定に伝搬するとともに、アスペクト比が小さく円形に近い基本横モードを導波する屈折率導波構造を有したBHストライプ構造を作製できた。本素子は、実施例1や2よりも低閾値動作が可能であり、閾値電流が実施例2に比べて1/2から1/3にまで低減した素子を得た。発振波長は、青紫色波長域の410〜430nmの範囲であった。実屈折率差によって基本横モードを安定に導波するBHストライプ構造を作製できた。本素子では、実施例1の素子よりも、活性層横方向の屈折率差が大きいため、導波光を安定に伝搬できる。さらに、電流狭窄効果も大きいので、低閾値動作が可能であった。閾値電流は、実施例2に比べて、さらに1/2から1/3にまで低減できた。発振波長は、青紫色波長域の410〜430nm

mの範囲であった。

#### 【0019】実施例4

本発明の他実施例を説明する。本実施例では、実施例1から3までの素子を同様にして作製するが、歪補償多重量子井戸活性層5に対して量子障壁層を少なくとも2段階に設けた図2又は図3の構造を導入した。その他は、実施例1から3までの素子構造を同様にして作製し、それぞれの素子断面を得た。

【0020】本実施例によると、実施例1や2及び3と同様な素子構造を作製し、発光活性層を図1から図2又は図3の構造に変えて導入したところ、より低閾値動作が可能となり、それぞれの実施例の場合に比べて、閾値電流は2/3から1/2にまで低減できた。発振波長は、青紫色波長域の410〜430nmの範囲であった。

#### 【0021】実施例5

本発明の他実施例を説明する。本実施例では、サファイア( $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)基板の代わりに、基板1を六方晶系Wurtzite構造であり基板面方位が(0001)C面であるn型の炭化珪素( $\alpha$ -SiC)として、その上にn型Ga<sub>0.9</sub>Nバッファ層を設けて、その後実施例1から3までの素子構造を同様にして作製し、それぞれの素子断面を得た。本実施例によると、基板がn型の導電性であるため、n側電極を基板裏面に蒸着して、基板上面のp側電極から窒化物半導体を經由して基板下面のn側電極の方へと電流を通すことが可能であった。これにより、チップ素子の組立時において、接合部を下にしたマウントが可能となるので、放熱性を格段に向上できた。本実施例では、上記実施例よりも高い温度で動作するレーザ素子を得た。

#### 【0022】

【発明の効果】本発明によると、特にIII-V族窒化物半導体AlGaInN材料において、GaInN圧縮歪量子井戸層とAlGa<sub>0.9</sub>N引張歪量子障壁層を繰り返して形成される歪補償多重量子井戸構造を活性層に導入することにより、ポテンシャル井戸の深さを大きくし、エネルギー障壁をより高く設定できるので、量子井戸層におけるキャリアを十分閉じ込め、高注入時でも光学利得の飽和が生じない、利得発生効率の高いレーザ素子を達成した。また、本発明による歪補償多重量子井戸構造においては、低温成長が必要なGaInN量子井戸層に対して、高温で安定なAlGa<sub>0.9</sub>N量子障壁層で覆う形を繰り返すことになるので、高温成長時でのGaInN結晶層の再離脱を防ぎ、量子井戸層の結晶性とヘテロ界面や組成の急峻性を一原子オーダーで良好に保つことが可能であった。さらには光分離閉じ込め層も含めて歪補償としており、発光活性層領域の全体において結晶性を良好に確保できた。その結果、低閾値で動作し、かつ室温以上の高温まで発振するレーザ素子を得た。本実施例では、活性層横方向に対して、利得差を設けて横モードを導波する利得導波構造と実屈折率差を設けて基本横モードを安定に導波する屈折率導波構造を作製した。屈折率導波構造の素子では、利得導波構造より

も低閾値で動作し、閾値電流は1/3から1/5にまで低減した素子を得た。さらに、歪補償多重量子井戸構造を図1の構造から図2や図3の構造にして導入することにより、さらに閾値電流を2/3から1/2にまで低減した。本素子の発振波長は、410～430nmの範囲であった。

【図面の簡単な説明】

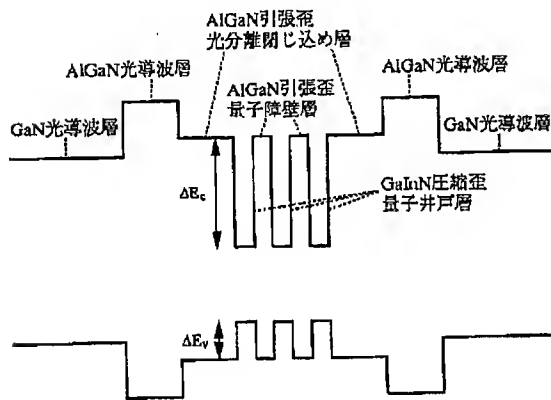
【図1】歪補償型多重量子井戸構造活性層領域の伝導帯および価電子帯バンド構造を示す概略図。

【図2】歪補償型多重量子井戸構造活性層領域の伝導帯および価電子帯バンド構造を示す概略図。

【図3】歪補償型多重量子井戸構造活性層領域の伝導帯および価電子帯バンド構造を示す概略図。

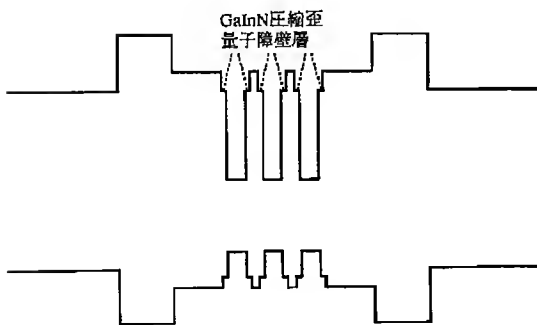
【図1】

図1



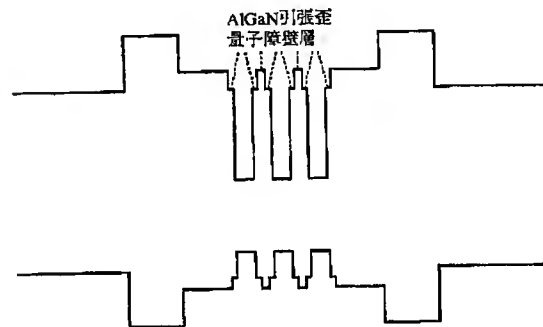
【図3】

図3



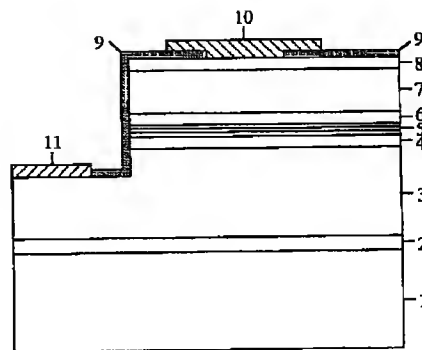
【図2】

図2



【図4】

図4



【図4】本発明の一実施例を示す素子構造断面図。

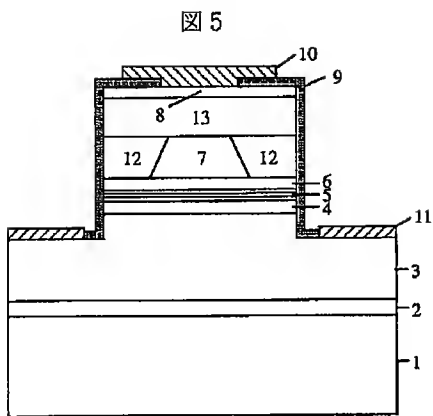
【図5】本発明の他実施例を示す素子構造断面図。

【図6】本発明の他実施例を示す素子構造断面図。

【符号の説明】

1…(0001)C面サファイア単結晶基板、2…GaNバッファ層、3…n型GaN光導波層、4…n型AlGaInN光導波層、5…アンドープGaInN/AlGaInN歪補償多重量子井戸構造活性層、6…p型AlGaInN光導波層、7…p型GaN光導波層、8…p型GaInNコンタクト層、9…絶縁膜マスク、10…p側電極、11…n側電極、12…n型GaN電流狭窄層、13…p型GaN埋め込み層、14…選択成長用絶縁膜マスク。

【図5】



【図6】

